

**Analisa Rangkaian Pengagihan Gas
Menggunakan Kaedah Hardy Cross**

Oleh

**Zainal b. Zakaria
Shahrul Azman b. Zainal Abidin
Mohd. Norani b. Abdul Rahman**

Kumpulan Kejuruteraan Gas, UTM

Abstrak

Kajian ini merupakan penyelakuan komputer bagi rangkaian pengagihan untuk mengkaji sifat-sifat sistem rangkaian paip yang mengagihkan gas di dalam keadaan-keadaan yang berbeza. Aturcara ini digunakan untuk sistem pengagihan asas di mana tiada pam, pemampat, pengatur, injap, meter atau lain-lain komponen bukan paip yang akan menghasilkan kehilangan tekanan yang munasabah pada sistem talian paip tersebut.

Pengenalan

Sistem pengagihan gas terdiri daripada suatu rangkaian paip yang bersepadu dan beroperasi dalam julat tekanan yang luas. Ianya adalah tersangat kompleks dan mahal, dengan itu memerlukan perancangan dan rekabentuk yang amat teliti. Wujudnya komputer telah menjadikan kerja-kerja pengiraan yang panjang dan membosankan lebih berupaya menuju kepada jawapan yang cepat.

Penyelakuan membolehkan kita meramal sifat-sifat sistem rangkaian paip di bawah keadaan yang berbeza. Ramalan ini kemudiannya boleh digunakan untuk membimbing keputusan berkenaan dengan merekabentuk dan operasi sistem yang sebenar. Pada peringkat merekabentuk suatu rangkaian yang baru, penyelakuan membantu dalam pemilihan suatu struktur dan geometri paip bagi rangkaian tersebut, jika parameter bekalan dan permintaan telah diketahui.

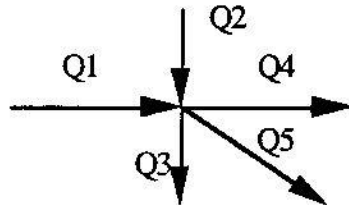
Kawalan sistem rangkaian juga memerlukan penyelakuan untuk memperolehi maklumat berkenaan dengan tekanan dan kadar alir pada sesuatu titik dalam rangkaian itu.

Algoritma Untuk Analisa Rangkaian Paip

Banyak pembaikan tentang analisa rangkaian paip telah dikemukakan. Pembaikan yang bererti telah dibuat pada tahun-tahun kebelakangan oleh para penyelidik selepas mengenalpasti had-had dan masalah-masalah pada setiap algoritma.

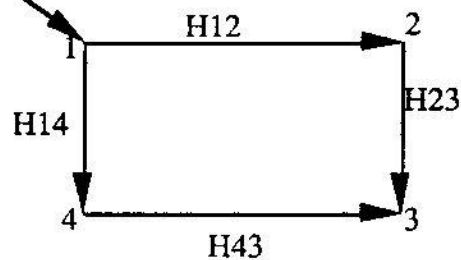
Perlaksanaan rangkaian paip adalah berdasarkan kepada konsep Hukum Kirchoff, yang mengatakan:

- i. Jumlah aljabra kadaralir pada simpang adalah sifar. Ini bermakna bebanan pada simpang mestilah sama dengan jumlah aliran cabang yang memasuki atau keluar daripada simpang (keselajaran jisim).



$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4 + Q_5 \quad \dots\dots\dots(1)$$

- ii. Jumlah vektor penurunan tekanan di sepanjang suatu gelung tertutup mestilah bersamaan dengan sifar. Suatu gelung tertutup bermula dan tamat pada simpang yang sama. Oleh itu tidak ada kejatuhan tekanan mengelilingi suatu gelung tertutup (keabadian tenaga)



$$H_{ij} = 0 \quad \dots\dots\dots(2)$$

Persamaan-Persamaan Aliran Gas

Aliran gas di dalam talian paip secara amnya dapat dikelaskan kepada 2 kategori iaitu:

- i. Aliran gas tekanan rendah

Maksud tekanan rendah adalah tekanan yang biasa terdapat pada meter-meter gas pengguna-pengguna. Secara amnya tekanan operasi bagi katogeri ini adalah di antara 8 inci hingga 12 inci turus air. Terdapat 2 persamaan yang digunakan apabila rangkaian termasuk di dalam kategori ini iaitu:

- a) Persamaan Pole

Persamaan Pole amat sesuai bagi jenis aliran separa gelora. Ianya akan memberi anggaran yang bagus terhadap aliran paip licin yang bergarispusat 4 inci dan kurang.

$$Q = 876 (h/GL)^{0.5} D^{2.5} \quad \dots\dots\dots(3)$$

di mana:

Q = Kadaralir gas pada 60°F, ka^3/j

h = Kejatuhan tekanan, inci turus air

$$= (P_1^2 - P_2^2) / 1.062 \text{ di mana } P_1 \text{ dan } P_2 \text{ adalah tekanan masukan dan tekanan keluaran}$$

G = Nilai graviti tentu untuk gas (udara = 1)

L = Panjang paip, kaki

D = Garispusat dalaman paip, inci

Bagi menyelesaikan persamaan di atas selaras dengan konsep Hardy Cross pengubahsuaian terpaksa dilakukan seperti di bawah:

$$h = ALQ_i^2$$

di mana:

$$A = G / (876)^2 D^5$$

b) Persamaan Spitzglass

Persamaan Spitzglass adalah hampir sama seperti Persamaan Pole iaitu amat sesuai untuk aliran separa gelora. Walau bagaimanapun ianya akan memberi anggaran yang bagus terhadap aliran paip licin yang bergarispusat 12 inci dan lebih kecil. Berdasarkan kebanyakan rangkaian talian paip gas pada tekanan rendah dibuat dengan menggunakan saiz dalam lingkungan 12 inci, telah menjadikan Persamaan Spitzglass amat popular.

$$Q = 3550 [D^5 / (1 + (3.6/D) + 0.003 * D)]^{0.5} (h/GL)^{0.5} \dots\dots\dots(4)$$

Penjelmaan persamaan di atas agar selaras dengan kaedah Hardy Cross adalah:

$$h = ALQ_i^2$$

di mana:

$$A = (1 + (3.6/D) + 0.03 * D) G / ((3550)^2 D^5)$$

ii. Aliran gas tekanan sederhana dan tekanan tinggi

Tekanan ini merupakan tekanan yang terdapat pada bahagian-bahagian saluran-saluran paip pengagihan dan penghantaran. Bagi penghantaran yang jauh tekanan ini ditinggikan sehingga 1000 Psi kerana ini akan menjadi lebih ekonomi. Julat biasa yang terkandung di dalam kategori ini adalah 100 Psi hingga 1000 Psi.

Terdapat banyak persamaan-persamaan yang digunakan di dalam membuat analisa rangkaian bagi aliran gas bertekanan sederhana dan tinggi. Persamaan-persamaan ini adalah hasil terbitan daripada persamaan aliran gas. Tiap-tiap persamaan yang diterbitkan itu mempunyai pendekatan-pendekatan yang tersendiri. Persamaan-persamaan ini adalah sangat konservatif pada saiz paip yang kurang daripada 20 inci.

Persamaan Am

$$Q = K (T_b/P_b) [(P_1^2 - P_2^2) D^5] / (f L G T_f Z_a) E \quad \dots\dots\dots(5)$$

a) Persamaan Weymouth

$$Q = K (T_b/P_b) [(P_1^2 - P_2^2) / (f L G T_f Z_a)]^{0.5} D^{8/3} E \quad \dots\dots\dots(6)$$

b) Persamaan Panhandle A

$$Q = K (T_b/P_b)^{1.0788} [(P_1^2 - P_2^2) / (f L T_f Z_a)]^{0.5394} (1/G)^{0.4606} D^{2.6182} E \quad \dots\dots\dots(7)$$

c) Persamaan Panhandle B

$$Q = K (T_b/P_b)^{1.02} [(P_1^2 - P_2^2) / (f L T_f Z_a G^{0.961})]^{0.510} D^{2.530} E \quad \dots\dots\dots(8)$$

d) Persamaan Gustafon

$$Q = 4.214 (T_b/P_b) [(P_1^2 - P_2^2)^{0.5} D^{2.4445} \text{Log} 3.7 D/e] / G^{0.47355} T^{0.5} L^{0.5} Z_a \sqrt{0.02645}^{1.0272} \quad \dots\dots\dots(9)$$

e) Persamaan Exxon

$$Q = 38.77 F (T_b/P_b) D^{0.25} [(P_1^2 - P_2^2 - E_c) / (G T_f Z_a L)]^{0.5} \quad \dots\dots\dots(10)$$

di mana:

K = Angkatap

T_b = Suhu pada keadaan piawai mutlak, F + 460

P_b = Tekanan piawai, Psia

P₁ = Tekanan masukan, Psia

P₂ = Tekanan keluaran, Psia

D = Garispusat dalaman paip, inci

f = Faktor geseran

L = Panjang paip, kaki

G = Graviti tentu gas yang mengalir

T_f = Suhu pada aliran bendalir, F + 460

Z_a = Faktor keternampatan purata

E = Faktor kecekapan disebabkan oleh halangan di dalam paip seperti terdapatnya kesan-kesan cecair dalam paip gas, halangan oleh kimpalan dan sebagainya. Bagi talian paip gas yang bersih nilai E antara 0.92 hingga 0.94.

e = Faktor kekasaran paip keluli, jika e tidak diketahui maka nilainya dianggarkan 0.0007.

$V =$ Kelikatan gas mutlak (lbm/ka. sa)

Persamaan-persamaan berikut boleh digunakan dan bergantung kepada tekanan operasi, garispusat paip dan keadaan aliran samada aliran lamina, separa gelora atau gelora.

Perihalan Aturcara

Secara amnya, aturcara ini adalah membaca data-data masukan yang menakrifkan parameter-parameter setiap paip dan spesifikasi tekanan dan kadar alir. Daripada data-data masukan tersebut, persamaan sistem dijanakan dan persamaan tersebut diselesaikan sehingga kejaitan bandingan yang diingini tercapai. Cartaralir bagi aturcara ini ditunjukkan dalam Gambarajah 1.

Analisa Satu Sampel Kajian

Sebagai pengujian terhadap kajian dan kebolehan aturcara rangkaian yang ditulis, satu rangkaian pengagihan gas telah dianalisa seperti yang ditunjukkan dalam Gambarajah 2. Analisa ini merangkumi semua persamaan-persamaan yang telah dikenalpasti. Sebahagian daripada keputusan yang diperolehi seperti di Lampiran 1 (keputusan berdasarkan kepada Persamaan Spitzglass).

Kesimpulan

Kaedah Hardy Cross merupakan suatu teknik yang berkesan dan cepat untuk menyelesaikan persamaan-persamaan rangkaian. Aturcara rangkaian ini boleh diubahsuai kepada aturcara rekabentuk rangkaian yang berupaya mengesyorkan saiz paip optimum untuk digunakan pada keadaan operasi tertentu.

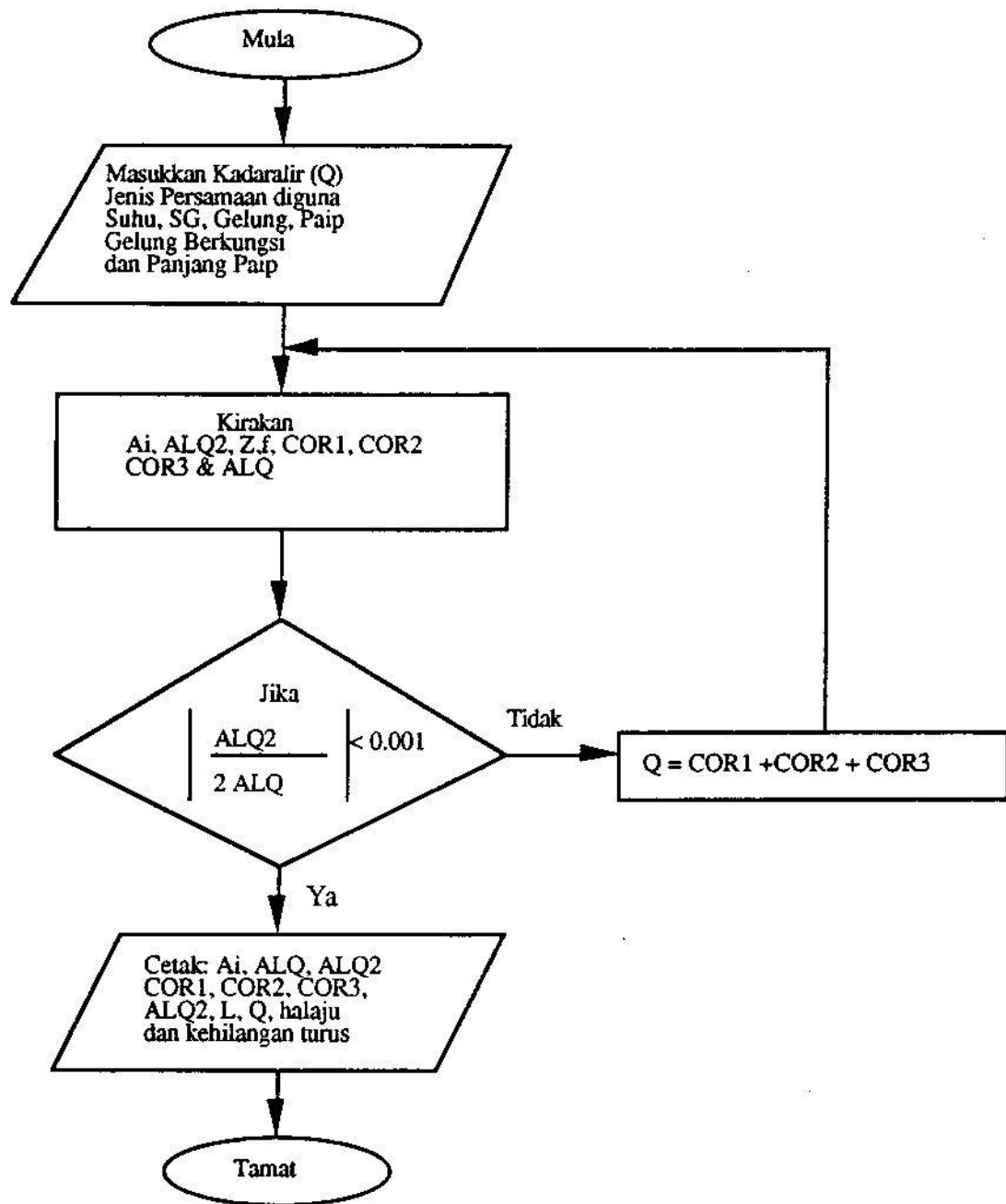
Rujukan

Cross, H. "Analysis of flow in network of conduits or conductors". Bulletin no. 286, University of Illinois Engr. Expr. Station, Urbana, Ill. 1936.

Joo, K. R. "Analisa rangkaian pengagihan bendalir menggunakan teori linear, Tesis 1988/89. Fakulti Kejuruteraan Kimia & Kejuruteraan Sumber Asli, Universiti Teknologi Malaysia.

Guidelines on design of distribution system, reservoir, pipelines and reticulation. Jabatan Kerja Raya Semenanjung Malaysia.

Pressure and network analysis, Course Module 3 (Section 1). Kursus di Dalam Latihan Perusahaan Petroleum, Universiti Teknologi Malaysia.



Gambarajah 1: Cartalir Pengaturcaraan



Lampiran 1

FOR TRIAL # 1							
LOOP	MAIN	LENGTH	Q	ALQ	ALQ2	VELOCITY	R LOSS
1	1	1600.0000	2.4500	0.0002	0.0004	1.3871	2.1554
1	2	2000.0000	1.0000	0.0002	0.0002	0.8153	1.2973
1	3	2400.0000	2.0000	0.0002	-0.0001	1.1323	2.2460
				0.0006	0.0002		
CORRECTION # 1 =				0.1784627			
2	4	1800.0000	0.7800	0.0005	0.0001	0.9976	2.1798
2	5	1900.0000	0.5000	0.0003	0.0002	0.6369	1.0437
2	2	2000.0000	1.0000	0.0002	-0.0002	0.8153	1.2973
				0.0010	0.0003		
CORRECTION # 1 =				0.1194229			
3	6	1300.0000	0.8300	0.0000	0.0000	1.5225	1.2086
3	7	1700.0000	0.2000	0.0000	0.0000	0.1631	0.0645
3	8	2000.0000	1.5000	0.0001	-0.0002	0.8493	1.1182
3	5	1900.0000	0.5000	0.0000	0.0000	0.6369	1.0437
				0.0003	-0.0003		
CORRECTION # 1 =				-0.4876519			
4	9	1200.0000	2.3100	0.0000	0.0001	0.7357	0.3663
4	10	800.0000	0.0800	0.0000	0.0000	0.0652	0.0062
4	7	1700.0000	0.2000	0.0001	0.0000	0.1631	0.0645
				0.0001	0.0001		
CORRECTION # 1 =				0.1733649			
((((((((LOWER SIGN CORRECTIONS))))))))							
LOOP	MAIN	REAPPEAR LOOP	Q	CORRECTION # 2		CORRECTION # 3	
1	1	1	2.4500	0.0000		0.0000	
1	2	2	1.0000	0.1494		0.0000	
1	3	1	-2.0000	0.0000		0.0000	
2	4	2	0.7800	0.0000		0.0000	
2	5	3	0.5000	-0.4877		0.0000	
2	2	1	-1.0000	0.1785		0.0000	
3	6	3	-0.8300	0.0000		0.0000	
3	7	4	0.2000	0.1731		0.0000	
3	8	3	-1.5000	0.0000		0.0000	
3	5	2	-0.5000	0.1494		0.0000	
4	9	4	2.3100	0.0000		0.0000	
4	10	4	0.0800	0.0000		0.0000	
4	7	3	-0.2000	-0.4877		0.0000	
((((((((UPPER SIGN CORRECTIONS))))))))							
LOOP	MAIN	REAPPEAR LOOP	Q	CORRECTION # 2		CORRECTION # 3	
1	1	1	2.4500	0.0000		0.0000	
1	2	2	1.0000	-0.1494		0.0000	
1	3	1	-2.0000	0.0000		0.0000	
2	4	2	0.7800	0.0000		0.0000	
2	5	3	0.5000	-0.4877		0.0000	
2	2	1	-1.0000	0.1785		0.0000	
3	6	3	-0.8300	0.0000		0.0000	
3	7	4	0.2000	-0.1731		0.0000	
3	8	3	-1.5000	0.0000		0.0000	
3	5	2	-0.5000	0.1494		0.0000	
4	9	4	2.3100	0.0000		0.0000	
4	10	4	0.0800	0.0000		0.0000	
4	7	3	-0.2000	0.4877		0.0000	
ALQ2S =		0.5142671E-004					